

**Д. В. Капитанов, А. А. Горбунова**

*Нижегородский национальный исследовательский  
университет им. Н.И. Лобачевского,  
dis-kdv@mail.ru*

## **КОЛЕБАНИЯ ТРУБОПРОВОДА, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ВОЛНОВЫМ ПРОЦЕССОМ В ОДНОМЕРНОМ ПОТОКЕ ТЕКУЩЕЙ ЖИДКОСТИ**

Рассмотрение проблем, связанных с механическим взаимодействием элементов конструкции с жидкостью или газом, характерно для современного развития техники. Решение указанных проблем в значительной мере определяет выбор оптимальных конструкторских решений, параметров и режимов эксплуатации. В общем случае взаимодействие трубопровода с внутренним потоком жидкости носит двусторонний характер: изменения внутреннего потока жидкости вызывают динамические деформации трубопровода, а динамические деформации трубопровода могут стать причиной изменения потока в гидросистеме, частью которой является трубопровод.

В работе представлены методика вывода математической модели и результаты исследования изгибно-продольной деформации трубопровода, состоящего из трёх прямолинейных участков. Концы трубопровода жёстко закреплены. Вектор перемещения рассматриваемого как изогнутый стержень трубопровода представляется в виде  $\bar{U}(x, t) = \bar{X}(x)T(t)$ . Моды колебаний  $\bar{X}(x)$  отыскиваются с учётом согласования граничных геометрических и физических условий в узлах соединения участков. В результате для компонент вектора  $\bar{X}(x)$  получаем формы продольных  $X_n(x)$  и изгибных  $X_u(x)$  колебаний для каждого участка.

Уравнение движения данной системы записываются в форме уравнений Лагранжа второго рода.

В выражениях для кинетической и потенциальной энергии учитываются динамические деформации участков при изгибном и продольном перемещениях.

Обобщённые непотенциальные силы, входящие в правые части уравнения Лагранжа, учитывают трение и гидродинамическое воздействие со стороны потока текущей жидкости. Это воздействие определяется давлением жидкости на рассматриваемых как точки участках поворота потока. Гидродинамические силы задавались в виде функций времени либо определялись на основании аналитического или численного решения системы уравнений одномерного нестационарного течения сжимаемой жидкости, описывающих гидравлический удар. В последнем случае причиной возникающих под действием потока вынужденных колебаний трубопровода служил волновой процесс, вызываемый закрытием клапана на выходе трубопровода.

Численно-аналитическое исследование показало, что в зависимости от параметров, определяющих деформацию трубопровода и волновой процесс в потоке жидкости, возникают колебания трубопровода, имеющие характер биения или резонанса. Амплитуды этих колебаний и возникающих напряжений могут быть значительными и служить причиной разрушения. Сделан вывод об опасности таких процессов и необходимости их анализа при проектировании и эксплуатации гидросистем.

Расчёты, проведённые с использованием универсального аттестованного программного комплекса [1], показали хорошее качественное и количественное совпадение с результатами, полученными с использованием описанной выше упрощённой ме-

тодики, допускающей применение аналитических методов. Использование, когда это возможно, упрощенного подхода даёт возможность получить наглядное представление о протекающих процессах и качественной зависимости этих процессов от параметров, начальных условий и возмущений. Кроме того, на основании такого подхода появляется возможность проверки, а при необходимости, и коррекции сложных математических моделей и их программой реализации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Программный комплекс RANT. Программа расчета трубопроводов на статическую прочность, вибропрочность и сейсмические воздействия. Рег. номер ПС в ЦОЭП при РЦН КИ №496 от 10.11.2002 г. Рег. номер паспорта аттестации ПС №155 от 28.03.2003 г.

**А. В. Карамов, Л. Р. Секаева**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
lsckaeva@ksu.ru*

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ С УЧЕТОМ ФИЛЬТРАЦИИ

Влияние грунтовых вод на прочность и деформируемость грунтов в ряде случаев является одним из важнейших факторов при проектировании и строительстве уникальных промышленных и гидротехнических сооружений. В первую очередь, это относится к водонасыщенным грунтам с высокой пористостью. При расчете взаимодействия строительных сооружений с грунтовым основанием учет влияния фильтрующей жидкости (грунтовых вод) просто необходим для адек-